

亀裂性泥岩区間における切羽補強工の補強効果及び施工実績

鹿島建設株式会社 正会員 ○伊達健介* 小野塚大輔 佐藤敏亮 横山忠治 佐久間啓吾

1 はじめに

新第三紀中新世の泥岩層の掘削を主体とするトンネル工事において、事前に三次元の数値解析を用いて長尺の切羽補強工法の効果を検証し、施工中も計測結果に基づき設計を適宜修正するという方針のもと、亀裂性泥岩区間の掘進を実施した。その結果、切羽及び天端崩落もなく、また変形量についても直前の堅固な泥岩層と同等なレベルに抑制することができ、無事施工を完了することができたので、その設計及び施工実績について報告する。

2 工事及び地質概要

あつみ温泉トンネル(L=852m)は山形県鶴岡市の温海地区に位置する天魄山を貫く山岳トンネルで、一般県道温海川木野俣大岩川線の道路改良事業の一部である。同トンネルでは、図-1に示すように南側の起点側坑口から約300mを過ぎた地点から、本トンネルの主体となる新第三紀中新世の泥岩層(鼠ヶ関層)が連続しているが、600m程度掘進した地点からは約120mにわたり、1D程度上部に同じく中新世の粗粒玄武岩層(温海粗粒玄武岩)が近接しており、その境界では破碎された泥岩や挟在粘土を含む泥岩層が分布することが予想されていた。さらに、事前の室内試験から境界付近の泥岩層はスレーキングを起こしやすいことがわかっており、トンネル掘削による緩みから、泥岩層上部に貯留している地下水がトンネル内に流入し、切羽崩壊さらには大量湧水発生に伴う大崩落が起こることが懸念された。そこで、掘進前に長尺の先進調査ボーリングを行ったところ、最大570L/minの湧水が確認され、掘削前に効果的な水抜き工ができたという結果の一方で、トンネル掘削による緩みを出来る限り最小限に抑える慎重な施工が必要であることが同時に示された。コア観察からは、泥岩新鮮部について既掘削区間との明瞭な違いは認められなかったが、湧水発生からも推測されるとおり、割れ目の密着性低下が懸念された。

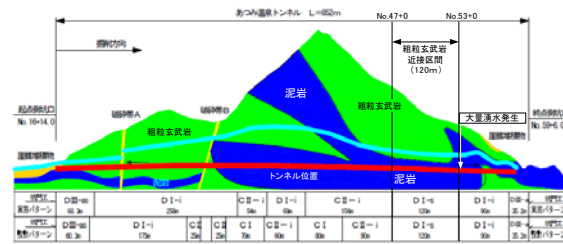


図-1 トンネル及び地質縦断面図

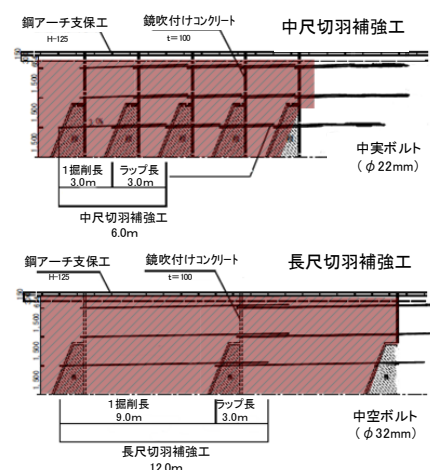


図-2 中尺及び長尺鏡補強工

3 長尺の切羽補強工の提案

原設計においても同区間の問題点は指摘されており、中尺(6m)の切羽補強工が計画されていたが、施工状況から計画時点よりも地質状況が悪い可能性が高いこと、砂質土ではなく泥岩であること、亀裂が既掘削区間よりも発達している可能性があることから、切羽奥の緩みを早期に防止することが重要と考え、ボルト直径がより大きく長尺(12m)の切羽補強工を提案し、その適用性を検証することとした。提案した切羽補強工の諸元については、図-2に示す。なお、提案した鏡ボルトは自穿孔かつモルタル後注入であるため、作業性及び品質においても原設計を上回り、かつシフト長が3mから9mに延長されることでボルト施工延長が減少するため、トータルのコストダウンにも貢献している。

4 解析用物性値の設定

長尺切羽補強工の効果の検証にあたっては、まず事前調査及び先進調査ボーリング結果から泥岩自体に大きな変化がないことから、まず、既往の調査結果及び直前の既掘削区間のA計測データから予測した最終変位(天端沈下:10.2mm, 内空変位:16.7mm)を用いてパラメトリックスタディを行い、泥岩の物性値を定め、地山の変化に伴う物性変化については計測結果に反映されるものとして適宜修正を行う方針とした。

キーワード: 泥岩 亀裂性 切羽補強工法 鏡ボルト 数値解析

連絡先: 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 電話 0424-89-7742 FAX 0424-89-7034

数値解析については、Itasca 社の汎用数値解析手法である三次元有限差分法(FLAC3D)を用い、泥岩の構成則には Mohr-Coulomb を採用し、全応力解析を実施した。検討の結果、表-1 に示す物性値を用いた場合に、切羽通過後の最終変位量として最適の結果が得られた(天端沈下: 10.7mm, 内空変位: 14.7mm)。図-3 に解析用メッシュを、得られた地山特性曲線を図-4 に示す。

切羽補強工の解析用物性値については、トンネル側壁を利用して、長尺切羽補強工に用いる中空ボルトの引抜試験を実施し、その結果をもとに表-1 のように定めた。同表には、数値解析に用いたその他トンネル支保の物性値もあわせて示している。

5 中尺と長尺の切羽補強工の補強効果の比較

解析用物性値を求めた後、中尺と長尺の切羽補強工の補強効果の比較を行った。長尺の切羽補強工が、長尺である利点を利用し、切羽のより奥の緩みを早期に抑制する効果については明らかであることから、長尺補強工の適用性検証にあたっては、長尺で最も補強効果の低い段階(12m のボルトを打設後 9m 掘削した状態)と中尺で最も補強効果の高い段階(6m のボルトを打設後 1m 掘削した状態)とを比較し(図-2 参照)、その補強効果を比較することとした。

図-5 に、各工法について上記の状態における切羽周辺のせん断ひずみ分布のコンター図を示す。両図はほぼ同様な分布となっており、本施工条件下では、長尺切羽補強工が中尺切羽補強工に対して補強効果の点でも有利なことが証明された。

6 施工実績

これらの結果をもとに長尺の切羽補強工を用いて懸念された泥岩区間の掘進を行った。同区間と直前の掘削区間における A 計測の結果を表-2 に示す。同表から、亀裂性の発達した泥岩区間においても、直前までの計測結果とほぼ同等のレベルに抑制して掘進できたことがわかる。これは、図-6 に示すように、計測されたボルトの軸力分布が、事前解析とほぼ一致していることからわかる。長尺切羽補強工の鏡ボルトとグラウトの効果により亀裂性の発達した泥岩が一体化し、切羽奥の地山の緩みが防止され、本来の泥岩(新鮮部)が有する剛性と強度が発揮されたことによるものと思われる。

今後、地山物性に応じて最適な切羽補強工の提案ができるよう、数値解析による予測、施工実績の蓄積及び解析と計測の比較など、総合的に切羽補強工の補強効果の検証を行っていきたいと考えている。

なお、本論文の作成にあたっては、安全かつ合理的な施工管理に対する多くの貴重な御助言から現場計測データの提供に至るまで、山形県の関係者の方々に多くの御指導を頂いた。ここに改めて謝意を表する。

表-1 物性値一覧

泥 岩	
構成則: Mohr-Coulomb	
単位体積重量: 22kN/m ³	
弾性係数: 500MN/m ²	
ポアソン比: 0.33	
粘着力: 1000kN/m ²	
内部摩擦角: 0°	
粗粒玄武岩	
構成則: Elastic	
単位体積重量: 27kN/m ³	
弾性係数: 5000MN/m ²	
ポアソン比: 0.25	
吹付コン+鋼製支保工 (t=150, H=125)	
構成モデル: Shell	
弾性係数: 6500MN/m ²	
断面積: 0.15m ²	
ロックボルト	
構成モデル: Beam	
弾性係数: 210000MN/m ²	
断面積: 2.54 × 10 ⁻² m ²	
鏡補強工	
構成モデル: Cable	
単位体積重量: 17.5kN/m ³	
弾性係数: 20000MN/m ²	
断面積: 5.77 × 10 ⁻⁴ m ²	
引張耐力: 180kN	
付着剛性: 4 × 10 ⁴ N/m/m	
付着強度: 2 × 10 ⁵ N/m	

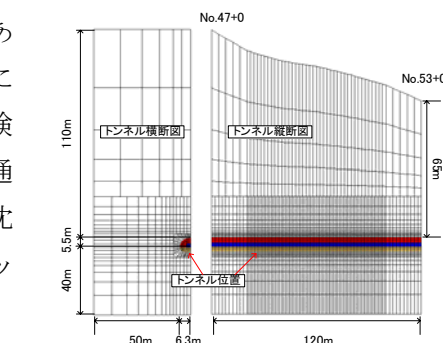


図-3 数値解析用メッシュ

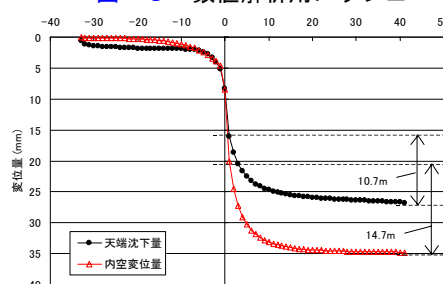


図-4 地山特性曲線

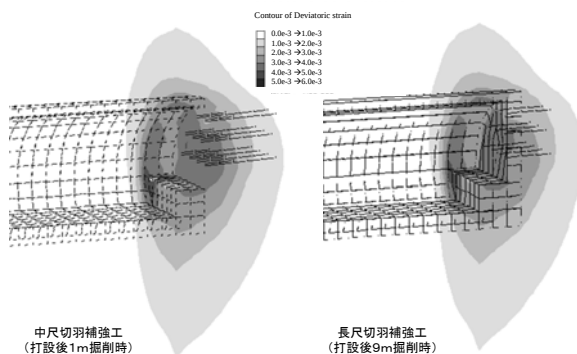


図-5 せん断ひずみ分布の比較

表-2 A 計測結果

計測地点	計測変位	天端沈下	内空変位
直前	No.43+15	10.2mm	17.4mm
	No.44+15	10.2mm	16.7mm
泥岩区間	No.51+0	11.7mm	18.9mm
	No.52+0	11.6mm	14.3mm

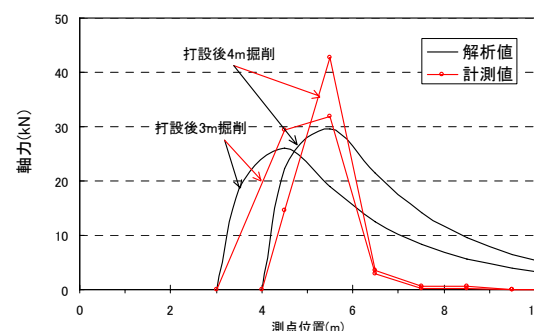


図-6 鏡ボルト軸力に関する解析値と実測値比較